

运用定量指标研究岩体风化问题的探讨

左三胜, 任光明

(成都理工大学工程地质研究所, 四川 成都 610059)

摘 要: 在分析国内外岩体风化问题研究现状的基础上, 指出了目前岩体风化量化评价存在的主要问题。结合实际工程资料, 从影响岩体风化的主要因素出发, 选择了表征岩体风化特征的代表性定量指标, 并分析了指标间的相关性。这为风化岩体的量化评价提供了依据。

关键词: 岩体风化; 量化评价; 定量指标; 岩体结构

中图分类号: TU45

文献标识码: A

1 前言

在水利水电工程中, 岩体风化问题的研究是工程地质专业工作者多年来一直进行探讨的工程地质问题之一。目前, 岩体风化问题的研究取得了巨大的发展。本文根据目前国内外岩体风化问题的研究成果和实际工程资料, 简要分析了目前国内外岩体风化问题的研究现状, 并探讨应用定量指标进行岩体风化问题研究的一些问题, 这为岩体风化定量化评价提供了理论依据, 具有显著的现实意义。

2 岩体风化问题研究现状概述

工程地质工作者最初是以定性为主来研究划分岩体风化带。在 60 年代以前, 人们主要通过肉眼观察和地质锤的敲击声来判断划分岩体风化带。在早期, 工程规模相对较小, 人类工程活动对岩体影响深度有限, 采用方便、经济、快速的定性描述划分研究岩体风化带基本上可以满足实际工程的要求。表 1 和表 2 就是早期以定性描述为主的具代表性的岩体风化程度划分方案。从早期的划分方案可以看出, 对岩体风化带划分多以定性描述为主。这种以定性描述为主的划分方案容易造成岩体风化带划分的不准确性和人为性, 同时也很难反映出岩体风化的本质, 因此, 以定性描述为主的划分方案难以适应人类大型水利水电工程的需要。

工程地质工作者经过多年的研究总结, 特别是 60 年代以后, 不断将能反映岩体风化特性的量化指标引入岩体风化带划分方案中。在研究岩体风化问题中不仅继承了早期研究的精华部分, 而且引入了新的量化指标, 使岩体风化问题的研究既反映了岩石物质成分变异的程度, 又比较准确地反映了风化作用对岩体结构、岩体工程特性的影响。

20 世纪 60 年代的以来, 岩体风化研究中引入了许多定量指标, 如岩石孔隙、抗压强度、回弹系数、点荷载强度指数等。定量测试指标的引入, 使岩体风化带划分由定性向定量、定性和定量相结合方面取得了发展。虽然引入了定量测试指标, 但这些指标并不能较全面地反映岩体的工程特性, 在实际工程中, 很难将其与工程岩体的综合评价联系起来。因此, 一些工程地质专家提出了用特征指标来划分岩体风化带的方案。1976 年, Patton Deere 提出了采用 RQD、岩心采取率、渗透率等定量特征指标来划分岩浆岩、变质岩的风化带; W. R 迪尔曼在花岗岩风化带划分研究中采用 RQD、岩石揭示程度、金刚石钻进速度、渗透率、纵波波速、电阻率等定量指标。这些岩体风化带划分方案使岩体风化问题的研究实现了向定量化发展的大飞跃。同样, 我国在岩体风化问题的定量化研究方面也取得了引人注目的成就, 如在三峡大坝坝址岩体风化的研究中, 引入了岩石抗压强度、点荷载强度、声波、地震波、回弹指数等

收稿日期: 2001-12-28.

作者简介: 左三胜(1965-), 男, 陕西大荔人, 讲师, 博士生, 主要从事工程地质与岩土工程方面的教学与科研工作, 已发表论文 10 余篇。

定量指标来划分岩体风化带(表3)。在我国颁布的岩体风化带划分方案中反映了岩体完整性和岩体结构的变化。

风化岩体划分标准中,首次将“波速比”纳入新标准。

波速比的引入,不仅使岩体风化带更易划分,而且在

表 1 岩体风化程度的划分方案

Table 1 Classification scheme of weathering degree in rock mass

分带名称	主 要 特 征					
	颜色和光泽	破碎速度和裂隙特点	矿物特点	力学特性	锤击声	挖掘方法
剧风化带	完全改变	联结破坏,但外观尚保持原岩结构特点	除石英外,其余矿物已大部风化	浸水迅速崩解,用手可以捏碎,不能采取原状试样	暗哑	锹镐
强风化带	大部分变色,仅岩块中心断面沿保持新鲜岩石特点	风化裂隙发育,岩体呈干砌块石状,沿裂隙面特别是几组裂隙的交汇处风化尤剧	除石英外,其余矿物已大部风化,仅岩块中心部份尚见新鲜原生矿物	力学性质显著降低,极不均一	暗哑	手镐风镐
弱风化带	表面或裂隙面大部分变色,断面处仍具新鲜岩石特点	一般尚完好,有风化裂隙,沿裂隙面风化较剧	沿裂隙面原生矿物大部风化	饱水抗压强度明显降低,一般仅及新鲜岩石的2/3~1/3	清脆	爆破为主
微风化带	裂隙面的颜色略变	结构未变,不易见到风化裂隙	矿物未变,仅沿裂隙面有时有泥质薄膜或铁锰质浸染	力学性质略有降低	清脆	爆破

表 2 岩体风化程度的划分(国家标准GBJ7—89)

Table 2 Classification of weathering degree in rock mass(after National Criterion GBJ7—89)

风化程度	特 征
微风化	岩质新鲜,表面稍有风化迹象
中等风化	1、结构和构造层理清晰 2、岩体被节理、裂隙分割成块状(20~50cm),裂隙中填充少量风化物,锤击声脆,且不易击碎 3、用镐难挖掘,岩心钻方钻进
强风化	1、结构和构造层理不甚清晰,矿物成分已显著变化 2、岩体被节理、裂隙分割成碎石状(2~20cm),碎石用手可以折断 3、用镐可以挖掘,手摇钻不易钻进

表 3 三峡三斗坪坝址风化岩体(石)各类参数值测定结果表¹⁾(据任自民等)

Table 3 Parameters of weathered rock mass in Sandouping Dam Site of the Three Gorges Project

风化分带	声波 V_p (km/s)				地震波 V_p (km/s)	回弹指数		点荷载强度 I_s (MPa)	饱和单轴抗压强度 (MPa)
	钻孔	平洞	烘干岩块	饱和岩块		岩体	岩块		
全风化带		0.86				<10		<0.5	
强风化带	2.326~4.110	2.284~4.412	1.555~1.663	2.158~1.242	1.22~2.55	14~28	13.7~17.6	0.5~2.5	12.7~22.9
	2.983	3.228	1.609	2.20	2.158	19.56	15.65	2.491	17.8
弱风化上亚带	2.857~5.236	3.044~5.832	2.173~4.044	2.25~5.081	2.55~4.22	18~38	24.7~39.8	2.5~9.5	41~82.5
	4.018	4.360	4.483	4.102	3.65	29.07	32.6	6.585	62.68
弱风化下亚带	4.286~6.00	4.445~6.100	4.266~5.484	4.905~6.124	4.00~5.33	26~48	41.1~45.2	5.8~11.4	63.76~124.4
	5.066	5.219	4.887	5.579	4.581	36.02	44.0	7.811	92.39
微风化带	4.762~6.00	4.900~6.12	4.623~5.413	5.779~6.423	4.58~5.71	37~56	48.9~52.4	6.2~12.0	69.57~142
	5.387	5.432	4.847	6.045	5.178	44.8	50.0	8.21	118.9
新鲜岩石	5.00~6.383	4.90~6.25			4.76~5.84	42~62		7.0~12.6	106.8~147.3
	5.696	5.64 ⁰			5.416	47.72		9.189	126.72

1) 分数值的分子为测值变化范围,分母为平均值。

3 岩体风化研究中存在的主要问题

目前, 关于岩体风化问题的研究虽然取得了很大发展, 实现了定性和定量的结合, 但是仍然没有提高到岩体风化的实质是岩体结构发生变化的高度来认识, 也没有在岩体风化带划分中引入“岩体结构”这一重要概念。若能将岩体结构的各种成熟指标引入岩体风化分带方案, 那么岩体风化带的划分方案将更科学、更全面, 使岩体风化的研究再上新台阶。

4 表征岩体风化特征的代表性指标及其相关性探讨

4.1 表征岩体风化特征的代表性指标的选取

反映岩体风化特征的因素大致包括以下三方面:

- 1. 岩石介质的变化或变异, 如岩石的颜色、矿物的颜色、岩石的密度、岩石结构、岩石强度等变化;
- 2. 结构面特征的变化, 如节理裂隙数量、组数、长度、间距、张开度、性状、充填物等变化;
- 3. 岩体特征的变化, 如岩体完整性、岩体结构、岩体质量等变化。

上述因素中, 既有定量的又有定性的。若将所有因素都考虑进去来划分岩体风化带是难以实现的, 不仅因素过多, 而且在某些条件下, 某些因素不能获取。

本文主要是从水利水电工程方面就坝基岩体的利用来研究岩体风化带划分问题, 围绕“岩体结构”这一控制岩体工程地质性质和岩体稳定的基本条件来划分岩体风化带。在选取表征岩体风化特征的代表性指标中, 主要选取了表征岩体结构的一些定量指标作为代表性指标。选取的代表性指标主要为: 岩石质量指标(RQD)、体积节理数(J_v)、波速(V_p)、波速比(B_v)、完整性系数(K_v)。

上述指标通过地表露头、勘探平洞、钻孔及波速测试等较容易获取, 为进行岩体风化带划分带来方便。

4.2 各代表性指标间的相关性分析

4.2.1 RQD 与 K_v 的关系

RQD 与 K_v 的关系, 前人已作了较多研究, 根据迪尔曼及 A. H. Merritt 提出的这二者之间的对应关系, 将其资料综合分析后获得新的对应关系(表4)

对表4进行细化后获得 RQD 与 K_v 的详细对应关系(图1), 其相关方程为

$$K_v = -0.017183 + 0.00861(RQD) - 0.000782(RQD)^2 + 0.00000894(RQD)^3$$
$$r_1 = 0.964, \quad r_2 = 0.991, \quad r_3 = 0.996 \quad (1)$$

表4 岩体风化程度与 RQD 、 K_v 的对应关系

Table 4 Corresponding relations between rock quality designation, integrity coefficient and degree of weathering in rock mass

风化类型	$RQD(\%)$	K_v	岩体质量
新鲜岩石	90~100	0.8~1.0	很好
微风化	75~90	0.6~0.8	好
弱风化	50~75	0.4~0.6	一般
强风化	25~50	0.2~0.4	差
全风化	0~25	0.0~0.2	很差

根据相关系数可以看出, RQD 与 K_v 有较好的相关性, 式(1)可以作为岩体风化带进一步细分时选用。

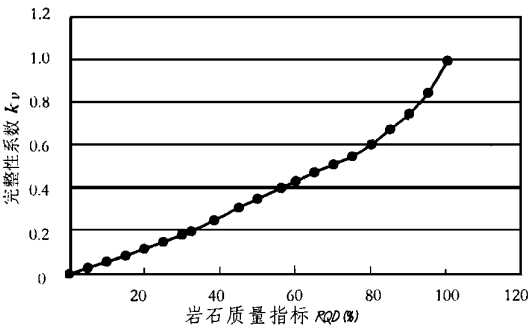


图1 RQD 与 K_v 关系图

Fig. 1 Correlation curve between rock quality designation integrity coefficient

4.2.2 裂隙间距(D)与完整性系数(K_v)的关系

实际应用中大多以最发育一组的裂隙真间距(D)为代表值。新的水电工程勘察规范给出了节理间距与岩体完整性系数(K_v)的对应关系, 为了便于分析 D 与 K_v 的相关性, 将水电规范中的 D 与 K_v 的对应关系细化后得到的相关曲线如图2, 对应的相关方程为

$$K_v = -0.1331 + 0.02106D - 0.0001758D^2 + 0.0000005331D^3$$
$$r_1 = 0.89, \quad r_2 = 0.995, \quad r_3 = 1 \quad (2)$$

由相关系数可以看出, 裂隙间距(D)与完整性

系数(K_v)具较好的相关性,这也符合随着裂隙增多,岩体的波速变小和完整性系数降低的特征。

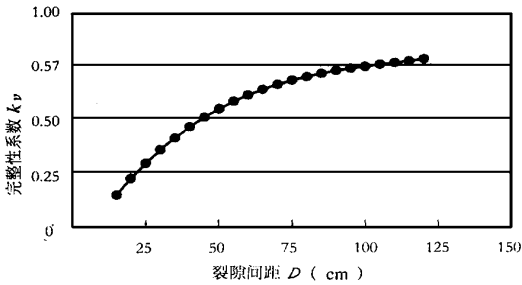


图 2 裂隙间距与完整性系数关系图

Fig. 2 Correlation curve between and spacing of fissure and integrity coefficient

4.2.3 RQD 与 J_v 的关系

国外学者 A. Palm Strom 研究了 J_v 与 RQD 的关系,并定义了不同体积节理数 J_v 所对应的块度(图 3),并获得 RQD 与 J_v 的关系方程式

$$RQD=115-3.3J_v \quad (\text{近似值}) \quad (3)$$
$$RQD=100 \text{ 时, } J_v < 4.5$$

而且可用几何学推导出对应的块体尺寸(或裂隙间距 D)。

当 $J_v \leq 3$	$D \geq 1.0m$
$J_v = 3 \sim 10$	$D = 0.5 \sim 1.0m$
$J_v = 10 \sim 20$	$D = 0.3 \sim 0.5m$
$J_v = 20 \sim 35$	$D = 0.15 \sim 0.3m$
$J_v > 35$	$D \leq 0.1m$

由上述对应关系可以获得 D 与 J_v 的关系式

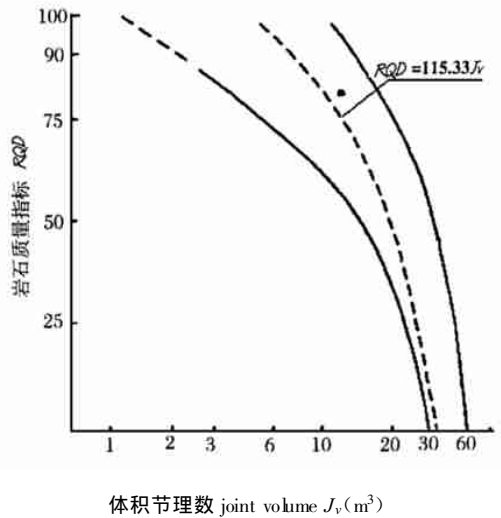
$$D=1.3803-0.8378(\lg J_v)$$
$$r=-0.997 \quad (4)$$

将式(4)代入式(2)可以获得 J_v 与 K_v 的关系式。

在某电站野外调查中,统计了平洞节理数 J_D 与 J_v 的关系,获得了如下的关系式

$$J_D=11.328+1.225J_v$$
$$r=0.993 \quad (5)$$

通过上述关系式,可以解决 J_v 不易获取的问题,并为以“几何学理论”获取 J_v 开辟了新途径。



块体尺寸	整块体	大块体	中等块体	小块体
------	-----	-----	------	-----

图 3 RQD 与 J_v 关系曲线图(据 Palm Strom)

Fig. 3 Correlation curve between rock quality designation and volumetric joint count

5 结论

1. 岩体风化问题的研究采用了定性和定量相结合的方法。在研究岩体风化问题中引入能够反映岩体风化本质的代表性指标,使岩体风化带的划分更科学、更全面、更准确。

2. 岩体风化带划分方案目前仍存在问题需要我们继续研究探讨。例如没有用“岩体结构”去研究不同风化带“岩体结构”类型的变化,岩体风化带划分方案中的一些量化指标在一些特殊条件下不易获取等。

3. 对于表征岩体风化的特征性指标选取及各指标间相互关系的研究有待进一步开展工作。

4. 本文研究表征岩体风化的特征性指标所应用的资料主要是与水利水电工程规范以及该类工程的实际资料有关,在其它工程中根据实际情况有选择地应用。

参考文献:

[1] 王思敬. 坝基岩体工程地质力学分析[M]. 北京: 科学出版社, 1990.

[2] 唐大雄, 刘佑荣, 等. 工程岩土学(第二版)[M]. 北京: 地质出版社, 1999.

[3] R. A. FORTH & IMPLATT—HIGGINS. Method of investigation of weathered rocks in HongKong proceeding of the international symposium on weak rock, TOKYO 21~24, September, 1981, 519.

[4] 《工程地质手册》编写组. 工程地质手册[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1982.

Discussion of Using Quantitative Indexes to Study Rock Mass Weathering

ZUO San-sheng and REN Guang-ming

(*Institute of Engineering Geology, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, China*)

Abstract: Based on the present state of weathering agency research at home and abroad, principal problems are pointed out in quantitative assessment of rock mass weathering. Making use of data obtained in some projects, representative quantitative indexes of weathering character are selected from those factors which affect rock mass weathering; In addition, the correlation between them is also analyzed. Achievements in this paper provide new approaches for quantitative evaluation of rock mass weathering.

Key words: rock mass weathering; quantitative assessment; quantitative index; rock mass structure